

PAT-NO: EP000401925A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: EP 401925 A1

TITLE: Integrated semiconductor device including an electrooptical switch.

PUBN-DATE: December 12, 1990

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CAVAILLES, JEAN-ARISTIDE	FR

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
PHILIPS ELECTRONIQUE LAB	FR
PHILIPS NV	NL

APPL-NO: EP90201419

APPL-DATE: June 5, 1990

PRIORITY-DATA: FR08907660A (June 9, 1989)

INT-CL (IPC): G02F001/015;G02F001/29 ;G02F003/00

EUR-CL (EPC): G02F001/313 ; G02F001/35

US-CL-CURRENT: 359/117,359/128

ABSTRACT:

<CHG DATE=19940730 STATUS=O> Device which comprises, on the one hand, a direct coupler structure into which one of the guides receives the luminous entrant

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

power and the other guide is formed from multiple quantum wells, a structure whose dimensions are such that in the static state the switch is in the crossed state and, on the other hand, means for controlling the switching, characterised in that: - on the one hand, the structure comprises layers forming at least one PIN structure in which the guide formed from multiple quantum wells constitutes an intrinsic region I, - and, on the other hand, the control means include means for reverse biasing the PIN structure acting as negative feedback for ensuring that the switching from one state into the other is initiated by a change of level of the luminous power injected into the entrant guide.

Application: Electrooptical switching arrays for optical telecommunications.

<IMAGE>

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**0 401 925**  
**A1**

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

Int. Cl.<sup>5</sup>: **G02F 1/015, G02F 1/29, G02F 3/00**

② Date de dépôt: 05.06.90

Demandeur: **N.V. Philips'**  
**Gloeilampenfabrieken**  
**Groenewoudseweg 1**  
**NL-5621 BA Eindhoven(NL)**  
**DE GB**

(72) Inventeur: Cavailles, Jean-Aristide  
Société Civile SPID, 209 rue de l'Université  
F-75007 Paris(FR)

74 Mandataire: Landousy, Christian et al  
Société Civile S.P.I.D. 209 rue de l'Université  
F-75007 Paris(FR)

74 Mandataire: Landousy, Christian et al  
Société Civile S.P.I.D. 209 rue de l'Université  
F-75007 Paris(FR)

(B4) FR

(54) Dispositif semiconducteur intégré incluant un commutateur opto-électronique.

(57) Dispositif semiconducteur intégré formant un commutateur optoélectronique qui comprend d'une part une structure de coupleur directif dans laquelle l'un des guides reçoit la puissance lumineuse d'entrée et l'autre guide est formé de multipluits quantiques, structure dont les dimensions sont telles qu'à l'état statique le commutateur est dans l'état croisé, et d'autre part des moyens de commande de la commutation, caractérisé en ce que : - d'une part la structure comprend des couches formant au moins une structure PIN dans laquelle le guide formé de

multipuits quantiques constitue une région intrinsèque I,

- et d'autre part les moyens de commande incluent des moyens de polarisation en inverse de la structure PIN agissant en contre-réaction pour obtenir que la commutation d'un état dans l'autre soit initiée par un changement de niveau de la puissance lumineuse injectée dans le guide d'entrée.

**Application:** Matrices de commutation optoélectroniques pour télécommunications optiques

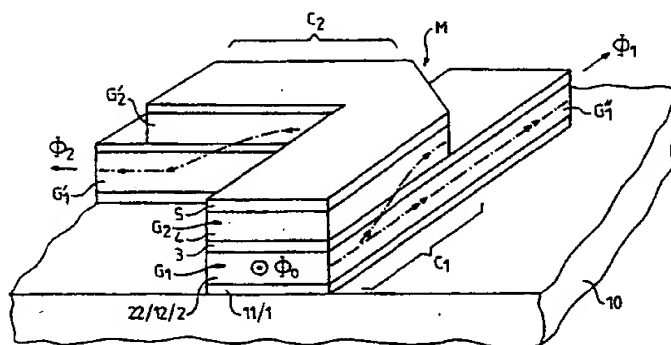


FIG. 8

## DISPOSITIF SEMICONDUCTEUR INTEGRE INCLUANT UN COMMUTATEUR OPTO-ELECTRONIQUE

L'invention concerne un dispositif semiconducteur intégré formant un commutateur opto-électronique qui comprend :

- d'une part une structure de coupleur directif dans laquelle l'un des guide reçoit la puissance lumineuse d'entrée et l'autre guide est formé de multipuits quantiques, structure dont les dimensions sont telles qu'à l'état statique le commutateur est dans l'état croisé,
- et d'autre part des moyens de commande de la commutation.

L'invention concerne également des dispositifs semiconducteurs intégrés incluant des matrices de commutation réalisées au moyen de tels commutateurs.

L'invention trouve son application dans le domaine des télécommunications par exemple.

Un coupleur opto-électronique de structure verticale est déjà connu de l'état de la technique par la publication intitulée "Quantum well wave-guide coupler" par Dietrich W. Langer & Marech Chmielewski dans "Superlattices, Microstructures and Micro-devices" publication qui reprend les exposés de la "4<sup>th</sup> International Conference on Superlattices, Microstructures and Micro-devices, TRIESTE, ITALY, 8-12 August 1988".

Ce commutateur connu comprend un substrat de type N<sup>+</sup> en GaAs sur la face arrière duquel est disposé un contact électrique ; une couche inférieure de confinement en Ga<sub>0,2</sub> Al<sub>0,8</sub> As, d'indice de réfraction 3,136 ; un premier guide de lumière formé de couches alternées de GaAs/GaAlAs pour constituer une structure de multipuits quantiques (MQW) ; une couche de séparation en Ga<sub>0,57</sub> Al<sub>0,43</sub> As d'indice de réfraction 3,355 ; un second guide de lumière formé de Ga<sub>0,65</sub> Al<sub>0,35</sub> As d'indice de réfraction 3,38 et une couche supérieure de confinement de Ga<sub>0,2</sub> Al<sub>0,8</sub> As d'indice de réfraction 3,136 couverte par une seconde électrode pour pouvoir appliquer une tension qui commande la commutation entre les deux guides.

Le second guide, c'est-à-dire celui qui se trouve dans la partie supérieure du dispositif et le plus loin du substrat de type N<sup>+</sup>, est donc formé de matériau ternaire, disposé entre deux couches également de matériau ternaire mais d'indice plus faible ; alors que le premier guide est celui qui est formé d'une structure de multipuits quantiques (MQW).

Ce dispositif connu présente une longueur calculée en fonction des indices des matériaux et de l'épaisseur de la couche de séparation pour que, en l'absence de tension appliquée entre les deux électrodes, toute la lumière injectée dans le second guide de composition ternaire passe dans le pre-

mier guide de structure MQW et sorte à l'extrémité de ce guide. Inversement, lorsqu'une tension est appliquée entre les électrodes, alors l'indice de réfraction de la structure MQW change et la lumière reste confinée dans le guide d'entrée, c'est-à-dire le second guide de composition ternaire.

L'avantage obtenu par l'utilisation d'une structure MQW pour faire l'un des guides est que, du fait des propriétés quantiques spécifiques liées au matériau, la variation de l'indice de réfraction en fonction de la tension appliquée est beaucoup plus grande que s'il s'agissait d'un guide de composition ternaire ordinaire. Donc pour obtenir la commutation, on peut utiliser à la fois des dispositifs de longueur de couplage moins grande et leur appliquer des tensions moins fortes. Ainsi, les dispositifs obtenus présentent une compatibilité accrue avec les circuits intégrés, puisque leur surface est plus petite et leur consommation moindre.

Ce dispositif connu présente cependant comme principal inconvénient le fait de devoir recourir, pour commander la commutation, à une commande extérieure.

Il est encore connu de l'état de la technique une diode PIN dont la région intrinsèque est formée d'une structure de multipuits quantique (MQW). Une telle diode est décrite dans la publication intitulée "The Quantum Well Self Electro-Optic Effect Device" par David A.B. MILLER et alii dans "IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-21, N° 9, September 1985".

Ce document décrit une diode PIN formée successivement d'un substrat en GaAs de type N ; d'une couche en GaAs de type N pour former un contact de type N ; d'une région de super-réseau (SL) formée de 50 couches alternées de GaAs (28,5Å) et de GaAlAs (68,5Å), les 20 premières de ces couches étant dopées N ; d'une structure de multipuits quantiques (MQW) constituant la région intrinsèque de la diode et composée de 50 couches alternées de GaAs (95Å) et de GaAlAs (98Å), les 20 dernières de ces couches étant dopées P et recouvertes d'un anneau en or pour former l'électrode de type P.

Toutes ces couches forment un MESA, noyé dans une résine époxy. Un fil conducteur constitue le contact avec l'anneau d'or, et l'ensemble est couvert d'un substrat en saphir. Le dispositif prend le nom abrégé de QWSEED (de l'anglais "Quantum Well Self Electrooptic Device").

Ce dispositif reçoit d'une part un rayonnement perpendiculaire aux couches, passant dans le centre de l'anneau d'or, et d'autre part une tension qui peut être appliquée en direct ou en inverse entre les électrodes.

Cette publication enseigne que lorsqu'on envoie un rayonnement perpendiculairement à la structure MQW, pour une tension de polarisation  $V = 0$ , le dispositif présente en fonction de l'énergie eV photonique proportionnelle à  $1/\lambda$ , où  $\lambda$  est la longueur d'onde du rayonnement, deux pics d'absorption. D'abord un pic de valeur élevée pour une longueur d'onde élevée ou une plus basse énergie de photon correspondant à l'exciton dit de "trou lourd", puis un pic de valeur plus basse pour une longueur d'onde moins élevée ou une plus grande énergie de photon, correspondant à l'exciton dit de "trou léger".

Lorsqu'on applique à la diode PIN ainsi formée, une tension de polarisation en inverse, ces pics se déplacent dans le sens où ils apparaissent pour des longueurs d'onde plus grandes ou des énergies de photon moins fortes.

Si l'on choisit une longueur d'onde de fonctionnement intermédiaire pour le rayonnement appliqué sur la photodiode, et si l'on fait varier la valeur de la polarisation inverse, on obtient alors une absorption dans la structure MQW qui augmente d'abord lorsque la valeur de la polarisation augmente, qui passe par un maximum, puis qui redécroît si l'on continue à augmenter la valeur de cette polarisation.

Du fait que la tension qui traverse le système influe sur l'absorption de la lumière par la structure MQW, lorsque le flux de lumière est injecté perpendiculairement aux couches, elle influe donc sur le photocourant. Ceci montre qu'il existe en fonction de la tension une région de photoconductance négative. Ainsi une contre-réaction est établie.

Ce document enseigne que ce phénomène de conductance négative conduit à plusieurs possibilités : d'une part l'hystérésis liée à ce phénomène permet d'obtenir par contre-réaction positive un système bistable et donc un effet mémoire ; d'autre part le système peut aussi fonctionner en oscilateur, et si l'on applique une tension de polarisation sinusoïdale entre les électrodes, la lumière est modulée en puissance à la sortie de la diode PIN.

Enfin par contre-réaction négative, le comportement est différent : on obtient une modulation autolinéarisée.

La présente invention a pour but principal de proposer un commutateur optoélectronique qui est muni de moyens d'auto-aiguillage et qui peut notamment être commandé optiquement.

Selon l'invention, ce but est atteint au moyen d'un dispositif tel que décrit dans le préambule en outre caractérisé en ce que :

- d'une part la structure comprend des couches formant au moins une structure PIN dans laquelle le guide formé de multipuits quantiques constitue une région intrinsèque I,
- et d'autre part les moyens de commande incluent

des moyens de polarisation en inverse de la structure PIN agissant en contre réaction pour obtenir que la commutation d'un état dans l'autre soit initiée par un changement de niveau de la puissance lumineuse injectée dans le guide d'entrée.

L'avantage inhérent au dispositif selon l'invention est que la commande de commutation ne dépend que de la puissance lumineuse d'entrée et que le circuit électrique pour polariser la structure PIN est beaucoup plus simple qu'un circuit de commande électrique de commutation classique ayant la même propriété.

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description suivante illustrée par les figures annexées dont :

- la figure 1a qui représente une structure verticale pour former un commutateur optoélectronique selon l'invention ;

- les figures 1b, 1c et 1d, qui représentent des variantes de cette structure verticale pour réaliser un commutateur optoélectronique selon l'invention ;

- la figure 2a qui représente un circuit de polarisation applicable au commutateur optoélectronique selon l'invention pour réaliser une commande en tension ;

- la figure 2b qui représente d'une part l'absorption  $\alpha$  et d'autre part la quantité de lumière détectée Q dans le multipuits quantique MQW, en fonction de la tension V inverse aux bornes de la structure.

- la figure 2c qui représente les courbes de la puissance lumineuse de sortie dans chacun des guides du commutateur optoélectronique en fonction de la tension V ;

- la figure 2d qui représente la quantité de courant photogénéré dans la structure à multipuits quantiques en fonction de la tension de polarisation ;

- la figure 2e qui représente d'une part la détectivité S (courbe C) et d'autre part les droites de charge du circuit de polarisation (courbes  $d_0$  à  $d_3$ ) en fonction de V ;

- la figure 2f qui représente les rapports des puissances de sortie  $\phi_1$  et  $\phi_2$  dans chacun des guides en fonction de la puissance d'entrée ;

- la figure 3a qui représente une variante du circuit de polarisation du commutateur selon l'invention pour réaliser une commande en courant ;

- les figures 3b et 3c qui représentent les puissances de sortie respectivement  $\phi_1$  et  $\phi_2$  en fonction des rapports des puissances d'entrée  $\phi_0$  au courant  $I_0$  dans un tel système ;

- la figure 4a qui représente une autre variante du système de polarisation du commutateur selon l'invention pour réaliser une commande en courant ;

- la figure 4b qui représente schématiquement

ment une mise en oeuvre de ce dispositif de polarisation ;

- les figures 5 qui représentent le séquençement de signaux transportés par le commutateur dans le cas d'une polarisation en tension appliquée en inverse sur la structure PIN.

- les figures 6 qui représentent le séquençement de signaux transportés par le commutateur dans le cas où une commande en courant est appliquée sur la structure PIN.

- la figure 7 qui représente un commutateur selon l'invention de structure horizontale ;

- la figure 8 qui représente un élément de commutation réalisé au moyen d'un commutateur vertical selon l'invention, pour faire une matrice de commutation.

### Exemple de réalisation I

Tel que représenté sur la figure 1a, pour faire un commutateur optoélectronique intégré, on réalise donc une structure PIN à multipuits quantiques, munie d'un dispositif de polarisation formant une contre-réaction, au moyen de couches de type N directement disposées au-dessus d'un substrat 10 qui pourra éventuellement être choisi semi-isolant, surmontée d'une région intrinsèque I constituée de multipuits quantiques (MQW), et d'une couche de type P.

Puis on adapte cette structure PIN pour réaliser un commutateur optoélectronique à structure verticale. Ce commutateur est par exemple lui-même constitué à partir du substrat 10 d'une première couche de confinement 1, d'un premier guide de lumière  $G_1$  en un matériau 2, d'une couche de séparation 3, d'un second guide de lumière  $G_2$  en un matériau 4, et d'une seconde couche de confinement.

Pour réussir l'adaptation de la structure PIN au commutateur optoélectronique, la première couche de confinement 1 est de type N, le matériau 2 pour constituer le premier guide de lumière  $G_1$  est de type N, la couche de séparation 3 est de type N, le matériau 4 pour constituer le second guide de lumière  $G_2$  coïncide avec la région intrinsèque I formée de multipuits quantiques, et la seconde couche de confinement est de type P. La couche 5 de type P et la couche 1 de type N sont munies de contacts, respectivement P et N, réalisés comme il est connu de l'homme du métier au moyen de couches ohmiques.

La puissance lumineuse d'entrée  $\phi_0$  est injectée dans le guide  $G_1$  de type N. Entre les contacts N et P est monté un circuit électrique fournissant aux bornes de la diode PIN constituée selon l'invention, une polarisation en inverse. De tels circuits sont représentés à titre d'exemple sur les figures

2a, 3a, 4a.

Dans une mise en oeuvre de l'invention, la première couche 1 de confinement est en un matériau ternaire III-V tel que par exemple GaAlAs, ainsi que le matériau 2 pour le premier guide  $G_1$ , la couche de séparation 3 et la seconde couche de confinement 5. Dans ces couches, la concentration en aluminium (Al) est alors choisie de telle sorte que l'indice de réfraction des couches de confinement et de séparation soit plus faible que celui des guides de lumière. Cet effet est obtenu en choisissant par exemple la concentration en aluminium (Al) dans les couches de confinement 1 et 5 et de séparation 3 :

$$x_0 = 0,16$$

et en choisissant la concentration en aluminium (Al) dans la couche ternaire 2 formant le guide  $G_1$  de l'ordre de :

$$x_1 = 0,11$$

Les multipuits quantiques (MQW) 4 pour former le guide  $G_2$  peuvent être constitués d'une alternance de 30 couches de matériau ternaire et 30 couches de matériau binaire de composés III-V, tels que par exemple pour les couches binaires l'arséniure de gallium et pour les couches ternaires l'arséniure de gallium et d'aluminium (GaAs/GaAlAs). Chaque couche aura favorablement une épaisseur de l'ordre de 10 nm. La composition du matériau ternaire sera favorablement  $Ga_{0,7}Al_{0,3}As$ .

Pour véhiculer une onde monomode transverse, l'épaisseur totale des couches 2 et 4 pour former les guides  $G_1$  et  $G_2$  sera de l'ordre de 0,4 à 0,7  $\mu m$ , et favorablement 0,6  $\mu m$ . L'épaisseur des première et seconde couches 1, 5 de confinement n'est pas critique, et peut être de l'ordre de 0,5 à 1  $\mu m$ .

L'épaisseur D de la couche de séparation 3 est déterminée en fonction de la longueur L de l'élément de commutation pour obtenir que, à l'état statique, c'est-à-dire en l'absence de toute polarisation V appliquée entre les contacts N et P ( $V = 0$ ), toute la puissance lumineuse  $\phi_0$  appliquée à l'extrémité dite entrée du guide  $G_1$  soit transférée au cours de ce trajet L, dans le guide  $G_2$  à travers la couche de séparation 3.

Le commutateur est alors dit être dans l'état croisé.

On notera que, à partir de là, le fonctionnement du dispositif selon l'invention est complètement différent de celui du commutateur connu de l'état de la technique, ou du fonctionnement de la diode PIN également connue de l'état de la technique.

En effet, en ce qui concerne le commutateur connu de l'état de la technique, d'abord il ne peut être commandé que de l'extérieur, ce qui nécessite un circuit supplémentaire pour effectuer cette com-



mande, alors que dans le dispositif selon l'invention, la commutation est induite par une variation d'intensité lumineuse, donc par le signal lumineux lui-même ; et ensuite, l'ordre dans lequel sont réalisées les couches du circuit connu fait qu'il ne pourrait fonctionner selon l'invention car on ne pourrait pas l'adapter en structure de type PIN.

En ce qui concerne la diode PIN connue, son fonctionnement est dû à un principe différent de celui qui est mis en oeuvre dans le commutateur selon l'invention.

En effet, comme on l'a vu précédemment, dans la diode connue qui est éclairée perpendiculairement aux couches, l'absorption dans les multipuits quantiques, considérée pour une longueur d'onde donnée, en fonction de la tension de polarisation appliquée en inverse aux bornes de cette diode, par exemple au moyen d'un circuit tel que représenté sur la figure 2a, montre deux pics. La partie décroissante de ces courbes au delà du premier maximum correspond à une région de photoconductance négative. Au contraire selon l'invention et tel qu'illustré par la figure 2b, la courbe en pointillés représentant l'absorption  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) dans les multipuits quantiques en fonction de la polarisation appliquée en inverse  $V(v)$  montre une augmentation monotone. Cela est dû au fait que l'on choisit de travailler dans une zone où l'énergie photonique est fixée à environ 30 meV en dessous du seuil de la première transition d'énergie de l'exciton dit de trou lourd, énergie à laquelle le puits quantique est peu absorbant.

D'autre part dans le dispositif selon l'invention, du fait de l'existence des deux guides de lumière couplés, l'absorption n'est pas le seul phénomène qui entre en jeu pour établir une contre-réaction lorsqu'une tension de polarisation est appliquée en inverse sur la diode PIN.

En effet, il faut tenir compte aussi de la quantité de lumière détectée par le guide  $G_2$  formé de multipuits quantiques (MQW). La courbe en trait plein de la figure 2b montre l'évolution de cette quantité de lumière  $Q$  en fonction de la même tension de polarisation  $V$ .

Les courbes  $\alpha$  et  $Q$  de la figure 2b, conduisent à montrer que le dispositif fonctionne selon les principes exposés ci-après, en accord avec une propriété des multipuits quantiques dite effet "Quantum Confine Stark Effect" (QCSE) et cependant différents des principes qui régissent le fonctionnement de la diode PIN ou du commutateur connu, lequel fonctionne en modulateur.

Les propriétés optiques du multipuits quantique (MQW) sont dépendantes de la tension appliquée en inverse aux bornes de la jonction PIN car elles sont influencées par le champ électrique créé perpendiculairement aux couches.

Tel qu'illustré par la figure 2c, et comme dans

le premier dispositif de commutation décrit au titre d'état de la technique, le système est conçu pour que, lorsque la tension de polarisation est nulle ( $V=0$ ) dû au choix de la longueur de couplage  $L$ , toute la lumière qui entre dans le premier guide  $G_1$  passe dans le second guide  $G_2$  formé de multipuits quantiques (MQW) : on est alors dans l'état croisé, comme illustré par les courbes de la figure 2c. La courbe A en trait plein représente la puissance  $\phi_2$ , relative à une puissance d'entrée  $\phi_0$  constante, qui sort du guide  $G_2$  en fonction de la valeur de la tension de polarisation  $V$  en volts. La courbe B en traits pointillés représente la puissance  $\phi_1$ , relative à la puissance d'entrée  $\phi_0$  qui sort du guide  $G_1$  en fonction de la valeur de la tension de polarisation  $V$  en volts.

Quand on augmente la tension de polarisation, on change les propriétés optiques du guide formé de multipuits quantiques (MQW) et pour des tensions  $V$  suffisamment élevées, toute la lumière reste dans le guide d'entrée  $G_1$  (état direct), le phénomène de couplage étant modifié.

En effet, du fait de l'absorption importante des multipuits quantiques (MQW) on a intérêt à ce qu'un minimum de signal soit transporté par le guide  $G_2$  aux fortes valeurs de polarisation. C'est pourquoi, on choisit la longueur de couplage pour que, aux faibles valeurs de  $V$ , ou à  $V = 0$ , le commutateur soit dans l'état croisé, et aux fortes valeurs à l'état direct.

Cela était déjà connu de l'état de la technique. Mais l'originalité de la présente invention repose sur l'existence du circuit de polarisation qui est appliqué non plus à la simple structure PIN connue, mais à la structure complexe de commutateur.

Un premier circuit de polarisation est montré sur la figure 2a, ce circuit est constitué d'une résistance  $R$  et d'une source de tension  $V_0$  constante appliquée en inverse sur la diode PIN à travers la résistance. Ce circuit de polarisation impose une relation entre le courant qui circule dans le circuit et la tension aux bornes de la diode PIN qui est de la forme :

$$I = f(V) \quad (1)$$

Pour une certaine tension aux bornes du dispositif, le circuit de commande réagit pour que s'établisse une certaine intensité définie par la relation 1, et vice-versa. Or la lumière absorbée dans les multipuits quantiques (MQW) est aussi une source de courant. En effet chaque fois qu'un photon est absorbé dans les multipuits quantiques, on a création d'une paire électron-trou récoltée par le champ électrique existant dans la jonction PIN et qui crée un courant.

Si l'on considère alors la puissance lumineuse  $\phi_0$  injectée dans le guide d'entrée  $G_1$ , la quantité de lumière  $Q$  effectivement détectée dans la région

du multipuits quantiques ou second guide  $G_2$  dépend de l'état du commutateur.

Si le commutateur est dans l'état direct, la région de multipuits quantiques ne détecte rien, il en résulte que  $Q = 0$ . Si au contraire le commutateur est dans l'état croisé, la quantité de lumière  $Q$  détectée effectivement présente dans la région intrinsèque du dispositif est grande.

Ainsi le photocourant généré est à la fois proportionnel à deux facteurs :

- d'une part à l'absorption dans les multipuits quantiques (MQW)  $G_2$ ,
- d'autre part à la quantité de lumière  $Q \times \phi_0$  qui se trouve effectivement au même moment dans lesdits multipuits quantiques (MQW)  $G_2$ .

Le dispositif selon l'invention montre alors plusieurs types de fonctionnement. D'abord deux cas extrêmes et ensuite un cas intermédiaire.

Dans les cas extrêmes :

- ou bien l'absorption est à peu près nulle dans les MQW, le photocourant généré est très petit, et toute la lumière passe dans le guide  $G_2$  ; on se trouve alors dans l'état croisé ;
- ou bien l'absorption est forte, le photocourant généré est encore très petit car toute la lumière reste dans le guide  $G_1$ .

Dans le cas intermédiaire :

- il s'établit un compromis entre l'absorption  $\alpha$  dans les MQW, c'est à dire la capacité des MQW à détecter la lumière, et la fraction de la puissance lumineuse susceptible d'être détectée.

Le rapport de la quantité de courant photogénéré à la puissance optique en entrée  $\phi_0$ , appelée détectivité  $S = I/\phi_0$ , est alors proportionnel à la fois à l'absorption  $\alpha$  et à la quantité  $Q$ . Donc la détectivité  $S$  est la composition des deux courbes représentant  $\alpha$  et  $Q$  de la figure 1b. Elle est alors de la forme représentée par la courbe C de la figure 2d, c'est-à-dire qu'elle présente un maximum en fonction de la tension de polarisation  $V$ . La détectivité générée est donc une fonction de  $V$ . Elle est notée  $S(V)$ .

On obtient alors comme dans l'état de la technique, une région correspondant à la partie décroissante de la courbe  $S(V)$  où la photoconductance est négative, mais l'origine du phénomène physique est différente, du fait qu'il y a ici composition de l'absorption  $\alpha$  et de la quantité  $Q$ , et non pas l'effet de l'absorption seule comme dans l'art antérieur. Le courant photogénéré  $I$  est alors à la fois proportionnel à la puissance  $\phi_0$  injectée et à la détectivité  $S(V)$  :

$$I = S(V) \times \phi_0 \quad (2)$$

Comme d'autre part, le courant dû au circuit de polarisation est donné par la relation (1), l'état du commutateur sera donné par la composition de ces deux fonctions (1) et (2) :

$$I = f(V) \quad (1)$$

$$I = S(V) \times \phi_0 \quad (2)$$

Si le circuit de polarisation est formé d'une façon simple, comme représenté sur la figure 2a, d'une alimentation électrique de tension  $V_0$  et d'une résistance  $R$  montées en série, le courant  $I$  dans la résistance  $R$  en tenant compte de la tension d'alimentation  $V_0$  et de la tension  $V$  aux bornes de la diode PIN est donné par la relation :

$$I = (V_0 - V)/R \quad (3)$$

D'autre part la quantité de courant photogénéré  $S(V)$  est donné par :

$$S(V) = I/\phi_0 \quad (4) \text{ à partir de la relation (2)}$$

L'état du système sera donc donné par la résolution du système :

$$S(V) = (V_0 - V)/R\phi_0 \quad (5)$$

La figure 2e montre différentes droites  $d_0, d_1, d_2, d_3$  représentant :

$(V_0 - V)/R\phi_0$  pour différentes valeurs  $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3$  etc... de la puissance d'entrée  $P_0$ .

Ainsi pour ce circuit de polarisation de la figure 2a et pour chaque valeur de la puissance d'entrée  $\phi_0$ , il existe une droite  $d_0, d_1, d_2, d_3$  etc... dont la pente est fonction de cette puissance d'entrée, la tension d'alimentation continue  $V_0$  et la résistance  $R$  étant des constantes.

En choisissant  $V_0 = 5,5$  Volts

$R = 1 M\Omega$

pour différentes valeurs de la puissance lumineuse d'entrée  $\phi_0$ , on obtient, représentées sur la figure 2e :

la droite  $d_0$  pour  $R\phi_0 = 0$

la droite  $d_1$  pour  $R\phi_0 = 1$

la droite  $d_2$  pour  $R\phi_0 = 100$

et la droite  $d_3$  pour  $R\phi_0 = 10$ .

La résolution du système (5) peut se faire graphiquement à l'aide des courbes de la figure 2e par l'intersection de l'une des courbes  $d_0, d_1, d_2, d_3$  et de la courbe C représentant  $S(V)$ . Cette intersection permet de lire graphiquement la valeur de la tension  $V$  qui se trouve aux bornes de la diode PIN.

La tension  $V$  lue sur la figure 2e à l'intersection de la courbe C et des droites  $d_1, d_2, d_3, d_4$  est reportée sur la figure 2c et permet de connaître l'état du commutateur pour cette valeur de la tension  $V$ . Le commutateur se trouve alors dans l'état direct ou croisé, et cet état dépend uniquement de la puissance  $\phi_0$  injectée à l'entrée.

La figure 2f représente les rapports  $\phi_2/\phi_1$  des puissances lumineuses recueillies respectivement en sortie du guide  $G_2$  (MQW) et du guide  $G_1$ , en fonction de la puissance lumineuse  $\phi_0$  injectée dans le guide d'entrée  $G_1$  dans le cas où il n'est pas MQW. Cette courbe a été tracée dans l'exemple où :

$R = 1 M\Omega$

$V_0 = 5,5$  Volts

avec le circuit de polarisation de la figure 2a.

Cette figure 2f montre sur la courbe E en trait plein qu'une puissance injectée de 100  $\mu$ W permet d'obtenir 15dB de différence entre la sortie de G<sub>2</sub> et la sortie de G<sub>1</sub>.

La courbe F en pointillée sur la même figure 2f a été tracée pour une valeur R = 100 K $\Omega$ . Dans l'un comme dans l'autre cas (courbe E ou courbe F) on constate que la transition qui permet de passer de l'état croisé à l'état direct est très abrupte.

On optimise alors le dispositif selon l'invention en choisissant une valeur de la résistance R appropriée, en fonction de la puissance  $\phi_0$ .

Dans une variante, le circuit de polarisation de la structure PIN pour obtenir la contre réaction, est une alimentation en courant représentée par exemple sur la figure 3a. Dans ce cas :

$$I(V) = I_0 \text{ si } V < V_0$$

$$I(V) = 0 \text{ si } V > V_0$$

On choisira par exemple V = 7 Volts.

Ceci peut être obtenu au moyen d'une photodiode externe  $\Delta$  disposée en série avec une alimentation en tension continue comme montré sur la figure 4a. Le point de polarisation du système est déterminé par :  $S(V) = I(V)/\phi_0$  (6)

Le nombre de solutions de cette équation dépend de la valeur du rapport  $I_0/\phi_0$ . Ainsi, si  $I_0/\phi_0$  est supérieur à S(V), alors V = V<sub>0</sub> et le commutateur est dans l'état direct. Si  $I_0/\phi_0$  est plus petit que S(V<sub>0</sub>), le seul état stable est la région de faible polarisation qui entraîne que le commutateur est dans l'état croisé. Entre ces deux extrêmes, le système est bistable. Ceci est montré sur les figures 3b et 3c où l'on a représenté les puissances de sortie  $\phi_1$  et  $\phi_2$  respectivement du guide G<sub>1</sub> et du guide G<sub>2</sub> en fonction du rapport  $\phi_0/I_0$ , pour une valeur fixe de I<sub>0</sub>.

La bistabilité peut être induite de deux façons, soit en changeant I<sub>0</sub>, soit en changeant  $\phi_0$ . Dans le cas du contrôle par la puissance optique  $\phi_0$ , les puissances de commutations peuvent être ajustées par I<sub>0</sub>, mais sont limitées par le courant d'obscurité de la jonction PI-N. Des commutations avec des puissances de quelques  $\mu$ W peuvent néanmoins être aisément réalisées.

Tel que représenté sur la figure 4b, dans un exemple de mise en oeuvre de cette variante du dispositif de polarisation, une diode PIN est réalisée en surface de la dernière couche de la structure verticale au moyen de couches de matériaux du groupe III-V, par exemple avec les mêmes matériaux que la structure de l'élément de commutation.

D'une manière générale, afin de minimiser les pertes dans l'état croisé, les calculs pour la conception des dispositifs selon l'invention sont faits pour une énergie de photon 30 meV en dessous de la première transition d'énergie d'exciton de trou lourd, énergie à laquelle le puits quantique

est peu absorbant.

Il a été pris en compte que dans le cas des multipuits quantiques (MQW) réalisés au moyen d'une alternance de couches de GaAs/GaAlAs, avec la concentration en Al dans le matériau ternaire de x<sub>1</sub> = 0,11, l'indice de réfraction est environ 1% plus élevé que dans un alliage de GaAlAs équivalent.

Dans cet exemple de réalisation à une seule structure MQW, l'épaisseur de la couche de séparation était de préférence D = 1  $\mu$ m et la longueur de couplage L = 228  $\mu$ m.

L'indice de réfraction est pour une structure réalisée au moyen des matériaux GaAs et GaAlAs :  $n_1 = 3,5433$  dans le guide G<sub>1</sub> (non MQW) et  $n_0 = 3,5061$  dans les couches de confinement 1 et 5 et de séparation 3.

## EXEMPLE DE REALISATION II

Tel que représenté sur la figure 1b, dans une variante de l'invention, la structure verticale de couches de matériaux semiconducteurs pour réaliser le commutateur forme un phototransistor. A cet effet, cette structure verticale comprend :

- un substrat 10 qui peut être semi-isolant,
- une première couche de confinement 11 de type P,
- une région 12 pour former le guide G<sub>1</sub> qui reçoit la puissance lumineuse d'entrée et qui coïncide avec une première zone intrinsèque I,
- une couche de séparation 3 de type N,
- une région 4 de multipuits quantiques (MQW) pour former le second guide G<sub>2</sub> et qui coïncide avec une seconde région intrinsèque I,
- une seconde couche de confinement 5 de type P.

Les dimensions de cette structure, c'est-à-dire les indices des matériaux, l'épaisseur de la couche de séparation et la longueur de couplage L sont prévues pour qu'à l'état statique (V = 0) le commutateur soit à l'état croisé.

Les matériaux et les couches peuvent être des mêmes composés que décrit précédemment. D'une façon générale, les matériaux seront choisis de la façon suivante, en fonction du substrat pour obtenir à la fois l'accord de maille et l'indice de réfraction nécessaire au confinement :

- Si le substrat est en arséniure de gallium, les couches non MQW pour former le guide de lumière G<sub>1</sub> (région 12) pourront être ternaires, par exemple en arséniure de gallium et d'aluminium (GaAlAs) ainsi que les couches de confinement.
- Si le substrat est en phosphure d'indium (InP) les couches non MQW pour former le guide de lumière G<sub>1</sub> (région 12) pourront être ternaires ou quaternaires, par exemple en arséniure de gallium et d'indium (GaInAs) ou en un composé de gallium,

indium, phosphore, arsenic (GaInAsP) ainsi que les couches de confinement.

Les structure MQW seront formées alors d'une alternance des couches binaires choisies et des couches ternaires ou quaternaires choisies.

On pourra aussi utiliser un substrat en silicium (Si) couvert d'une couche tampon pour réaliser l'accord de maille, puis d'une couche de GaAs ou d'InP qui sera alors considérée comme substrat.

Les circuits de polarisation sont les mêmes que pour le dispositif à une seule région intrinsèque, décrite précédemment et illustré par la figure 1a.

Dans cette variante, le dispositif selon l'invention présente un gain entre 10 et 100 et dans ce cas, les puissances optiques nécessaires au fonctionnement sont d'autant plus petites.

### EXEMPLE DE REALISATION III

Tel que représenté sur la figure 1c dans une autre variante de la structure verticale, cette dernière constitue, un phototransistor, comme dans l'exemple II. A cet effet cette structure verticale comprend :

- un substrat 10 qui peut être semi-isolant,
- une première couche de confinement 11 de type P,
- une région 22 de multipuits quantiques (MQW<sub>1</sub>) pour former le guide G<sub>1</sub> qui reçoit la puissance lumineuse d'entrée et qui coïncide avec une première zone intrinsèque I,
- une couche de séparation 3 de type N,
- une autre région 4 de multipuits quantiques (MQW<sub>2</sub>) pour former le second guide G<sub>2</sub> et qui coïncide avec une seconde région intrinsèque I,
- une seconde couche de confinement 5 de type P.

Les dimensions et caractéristiques de cette structure sont prévues pour qu'à l'état statique (V = 0) le commutateur soit à l'état croisé.

Les matériaux peuvent être les mêmes que ceux des régions correspondantes des exemples I et II.

Les circuits de polarisation déjà décrits peuvent aussi être utilisés.

Il faut noter que l'intérêt de cet exemple de réalisation réside :

- d'une part dans l'obtention d'un gain, comme dans l'exemple II,
- d'autre part dans le fait que les deux guides sont identiques, ce qui est plus facile à réaliser sur le plan technologique. Les guides montrent ainsi le même indice de réfraction. Ceci est contrebalancé par le fait que le guide G<sub>1</sub> a des pertes plus importantes lorsqu'il est réalisé en structure MQW, que lorsqu'il est réalisé en matériau ternaire comme dans l'exemple II.

### EXEMPLE DE REALISATION IV

Tel que représenté sur la figure 1d, dans une autre variante de la structure verticale, cette dernière constitue un phototransistor, comme dans les exemples II et III. A cet effet, cette structure verticale comprend :

- un substrat 10 qui peut être semi-isolant,
- une première couche de confinement 11 de type P,
- une région 32 de type P pour former le premier guide G<sub>1</sub> qui reçoit la puissance lumineuse d'entrée,
- une couche de séparation 3 de type N,
- une région 4 de multipuits quantiques (MQW) pour former le second guide G<sub>2</sub> et qui coïncide avec une région intrinsèque I,
- une seconde couche de confinement 5 de type P.

Les dimensions et caractéristiques de cette structure sont prévues pour qu'à l'état statique le commutateur soit à l'état croisé.

Les matériaux pour faire les couches peuvent être les mêmes que ceux des régions correspondantes des exemples I, II et III.

Les circuits de polarisation déjà décrits peuvent aussi être utilisés.

L'intérêt de cet exemple de réalisation réside dans le fait qu'il présente un gain en courant plus élevé que dans les exemples II et III, et en particulier plus élevé que dans l'exemple II.

### EXEMPLE DE REALISATION V

Dans cet exemple de réalisation, le coupleur directif a une structure horizontale. D'une manière préférentielle, cette structure sera du type dit à rubans érigés au-dessus d'un substrat (en anglais : RIB waveguides).

A cet effet, cette structure horizontale peut être formée de :

- un substrat 10,
- une couche inférieure de confinement 31 de type N,
- une région 32 de multipuits quantiques (MQW) pour former la couche guidante G, c'est-à-dire les régions guidées G<sub>1</sub> et G<sub>2</sub>, et qui coïncide avec une région intrinsèque I,
- une couche supérieure de confinement 35, de type P dans laquelle sont formés, par exemple par gravure, des rubans respectivement R<sub>1</sub> pour G<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> pour G<sub>2</sub>, rubans érigés en relief au-dessus du dispositif. Du fait de la différence d'indice qui apparaît dans la couche supérieure de confinement due à la différence d'épaisseur dans les régions des rubans R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et en dehors de ces régions, la lumière est guidée dans les parties de la couche guidante G qui se trouvent directement sous les

rubans, donc dans les parties  $G_1$  et  $G_2$ . Les guides de lumière  $G_1$ ,  $G_2$  sont donc directement délimités par les rubans  $R_1$ ,  $R_2$  respectivement.

Les matériaux pour réaliser une telle structure horizontale peuvent être :

- l'arséniure de gallium pour le substrat 10. Ce dernier peut être par exemple semi-isolant ou de type N ;
- une couche ternaire de GaAlAs pour la couche inférieure de confinement 31. L'épaisseur peut être favorablement  $0,15 \mu\text{m}$  ;
- la structure de multipuits quantiques pour former la couche 32 guidante G peut être identique aux structures de multipuits quantiques décrites dans les exemples précédents. L'épaisseur peut être favorablement  $0,5 \mu\text{m}$  ;
- une couche ternaire de GaAlAs pour la couche supérieure de confinement 35. Après gravure pour former les rubans, il restera favorablement une épaisseur de couche de confinement de  $0,3 \mu\text{m}$ , et les rubans seront érigés au-dessus de la surface, d'une hauteur de  $0,5 \mu\text{m}$ . Comme il a été noté précédemment, le matériau GaAlAs ternaire est choisi si le substrat est l'arséniure de gallium (GaAs). D'autres composés déjà cités sont utilisés si le substrat est en phosphure d'indium (InP).

L'intérêt de cet exemple de réalisation réside d'abord dans la simplicité de la mise en oeuvre. En effet, pour réaliser une structure horizontale, il suffit de déposer 3 couches (31, 32, 35), alors qu'il faut au minimum 5 couches pour réaliser une structure verticale.

D'autre part, le confinement latéral du faisceau induit moins de pertes par diffusion liée à la rugosité dans le cas d'un coupleur directif à structure horizontale, que dans le cas d'une structure verticale, ce qui compense le fait que la longueur L de couplage est plus grande pour la structure horizontale du fait que la distance entre les guides d'onde est en général plus grande, comme il est connu de l'homme du métier.

En outre, la structure horizontale est plus favorable pour réaliser une matrice de commutation, car les éléments de commutation sont plus faciles à réaliser.

Enfin, la gravure qui permet de réaliser les rubans (RIB) de la structure horizontale est plus facile à réaliser que celle qui est nécessaire à la réalisation du confinement latéral de la structure verticale (voir la figure 8 qui montre comment l'ensemble de la structure verticale cascable est érigée en relief sur un substrat du fait d'une gravure latérale).

Donc chacune des structures verticale et horizontale montre des avantages et des inconvénients différents. On choisira la structure verticale pour sa compacité favorable aux dispositifs intégrés à très grande échelle ; on choisira au contraire la structure

horizontale pour sa facilité de mise en oeuvre et ses faibles pertes.

Dans l'un comme dans l'autre cas, on réalisera les contacts électriques au moyen d'une couche ou d'un plot d'un matériau formant contact ohmique :

- par exemple Ti/Pt/Au (référence 37 sur la figure 7) sur une couche de GaAs de type  $P^+$  (référence 36 sur la figure 7) pour former le contact de type P ;

- par exemple Au/Ge sur une couche de GaAs de type N pour former le contact de type N.

La structure PIN simple (structure de diode = exemple I), sera de préférence commandée en tension et la structure de phototransistors (exemples II, III, IV, V) sera de préférence commandée en courant.

Les dispositifs selon l'invention dans la version structure PIN simple, ou dans les versions phototransistors trouvent par exemple leur application soit dans la commutation pure et simple commandée par la puissance d'entrée  $\phi_0$ , soit dans la commutation de signaux portés par une porteuse, comme montré sur les figures 5.

Pour une longueur d'onde donnée par exemple

$$\lambda = 865 \text{ nm}$$

les signaux  $\phi_1$  portés par un signal de faible puissance lumineuse d'entrée  $\phi_0$  représentée sur la figure 5a en fonction du temps t sortent directement dans le guide  $G_1$  alors que les signaux  $\phi_2$  portés par une forte puissance lumineuse d'entrée passent dans le second guide  $G_2$  (figures 5b et 5c).

La commutation ne dépend que de la puissance d'entrée  $\phi_0$  comme il avait été démontré par les courbes de la figure 2f.

Dans la mise en oeuvre où la polarisation de la structure PIN est une commande en courant (figures 3 et 4) on obtient un effet mémoire illustré schématiquement par les figures 6a à 6c.

La puissance d'entrée  $\phi_0$  est représentée par la courbe de la figure 6a. Pour un top dans un sens appliqué à cette puissance d'entrée  $\phi_0$ , la sortie passe dans l'un des guides. Lorsque la puissance d'entrée  $\phi_0$  revient à sa valeur initiale le signal reste dans le même guide. Pour un top dans un autre sens appliqué à la puissance d'entrée  $\phi_0$ , le signal passe dans l'autre guide et y reste même si la puissance d'entrée  $\phi_0$  revient à sa valeur initiale (voir les figures 6b et 6c).

Dans les calculs, l'absorption dans toutes les couches a été négligée excepté dans les structure MQW.

L'invention n'est pas limitée à la réalisation dans un système GaAlAs/GaAs, mais peut être étendue par exemple au système GaInAs/InP comme il a été dit précédemment, ou encore au système GaInAsP/InP.

De même le substrat peut être de tout matériau de maille compatible, et même en silicium, par exemple muni d'une couche d'adaptation de maille, puis d'une couche par exemple de GaAs ou d'InP. Le dispositif selon l'invention est à partir de là réalisé comme il a été dit précédemment.

#### EXEMPLE DE REALISATION VI

Dans cet exemple, on donne un procédé de réalisation d'un élément de commutation muni de moyens pour séparer les faisceaux des premier et second guides, dans le but de faire un élément de commutation cascable pouvant servir de base à la réalisation d'une matrice de commutation de Q entrées dans Q sorties.

Cet exemple est appliqué à l'une des structures verticales décrites dans les exemples I, II, III ou IV, et est illustré schématiquement par la figure 8.

Tel que représenté sur la figure 8, cet élément comprend un substrat 10 sur lequel est réalisé un premier coupleur directif  $C_1$  à structure verticale comme déjà décrit.

A l'extrémité de sortie de ce coupleur directif  $C_1$ , c'est-à-dire après une longueur égale à la longueur de couplage L, est disposé un miroir M seulement sur le trajet du faisceau du guide supérieur, ici  $G_2$ . Ce miroir M peut être constitué par un flan vertical faisant un certain angle avec l'axe optique de la structure du guide. Un tel flan vertical peut être réalisé par une gravure partielle en même temps que la gravure totale qui permet le confinement latéral des guides de la structure verticale.

Symétriquement par rapport à la normale au miroir M, on réalise un second coupleur directif  $C_2$  identique au premier. Ce système est évidemment formé en même temps que le coupleur  $C_1$  et le miroir M, au moyen d'un jeu de masques et par la gravure des couches.

On prévoit de prolonger le guide  $G_1$  en  $G'_1$ , et de prolonger le symétrique du guide  $G_1$  en  $G'_1$  au-delà de la longueur de couplage L, alors que le guide supérieur  $G_2$  et son symétrique  $G_2$  sont limités à la longueur de couplage L.

Selon la puissance d'entrée  $\phi_0$ , un faisceau entrant dans  $G_1$ , ou bien sortira par l'extrémité  $G'_1$  prolongement du guide d'entrée  $G_1$  avec une puissance  $\phi_1$ , ou bien passera dans  $G_2$ . Dans ce dernier cas, il sera réfléchi par le miroir M, et passera dans le symétrique  $G_2$  de  $G_2$ . Du fait que le coupleur  $C_2$  est prévu d'une longueur L correspondant à une sortie croisée, dans l'état de polarisation zéro, le signal passera dans  $G'_1$  et sera ensuite véhiculé par le prolongement de  $G'_1$  avec une puissance  $\phi_2$ .

Ainsi conçue, cette structure nécessitera donc

seulement la réalisation de contacts électriques de polarisation pour le premier coupleur  $C_1$  et non pas pour le second. Les contacts électriques seront donc réalisés soit seulement sur les couches 3 extrêmes de  $C_1$  (si  $C_1$  est constitué selon les exemples II, III, V) soit sur les couches N et P de  $C_1$  (si  $C_1$  est constitué selon l'exemple I). Les éléments formés de  $C_1 + C_2$  sont directement cascables. Il sont dits éléments de base.

On pourra alors réaliser une matrice de commutation de Q dans Q guides, en plaçant QxQ de ces éléments de base en cascade dans deux directions du plan d'un substrat.

D'une façon préférentielle, le miroir M est réalisé à  $45^\circ$  de l'axe optique du premier coupleur  $C_1$ . Les deux coupleurs  $C_1$ ,  $C_2$  sont donc dans des directions orthogonales.

#### Revendications

1. Dispositif semiconducteur intégré formant un commutateur optoélectronique qui comprend d'une part une structure de coupleur directif dans laquelle l'un des guides reçoit la puissance lumineuse d'entrée et l'autre guide est formé de multipuits quantiques, structure dont les dimensions sont telles qu'à l'état statique le commutateur est dans l'état croisé, et d'autre part des moyens de commande de la commutation, caractérisé en ce que :

- d'une part la structure comprend des couches formant au moins une structure PIN dans laquelle le guide formé de multipuits quantiques constitue une région intrinsèque I,

- et d'autre part les moyens de commande incluent des moyens de polarisation en inverse de la structure PIN agissant en contre-réaction pour obtenir que la commutation d'un état dans l'autre soit initiée par un changement de niveau de la puissance lumineuse injectée dans le guide d'entrée.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une seconde structure PIN dont le guide d'entrée constitue la région intrinsèque et qui est polarisée en direct.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le guide d'entrée est aussi formé de multipuits quantiques.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la structure du coupleur directif est de type vertical et comprend une couche de séparation d'un premier type de conductivité disposée entre les deux guides, et des première et seconde couches de confinement d'un second type de conductivité opposé disposées de part et d'autre des guides.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans la mesure où cette dernière dépend directement de la revendication 1, caractérisé en ce que la couche

de confinement adjacente au guide d'entrée, dite première couche de confinement et le guide d'entrée sont du même type de conductivité que la couche de séparation.

6. Dispositif selon la revendication 4, dans la mesure où elle dépend directement de la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de confinement adjacente au guide d'entrée, dite première couche de confinement et le guide d'entrée sont du type de conductivité opposé à celui de la couche de séparation.

7. Dispositif selon la revendication 4, dans la mesure où cette dernière dépend de l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que la couche de confinement adjacente au guide d'entrée est du type de conductivité opposé à celui de la couche de séparation.

8. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en ce qu'un miroir est disposé sur le trajet du guide supérieur de la structure verticale, à l'extrémité de la longueur de couplage, et en ce qu'un second coupleur directif de structure et dimension identiques est disposé dans l'axe de réflexion de ce miroir.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que le miroir est constitué par une interface plane perpendiculaire au plan des couches et disposée à  $45^\circ$  sur l'axe optique du premier coupleur directif.

10. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que la couche de séparation entre les deux guides de la (des) structure(s) de coupleur directif, est de type de conductivité N.

11. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la structure du coupleur directif est de type horizontal et comprend une couche guidante formée de multipuits quantiques pour former le guide d'entrée et le second guide, de part et d'autre de laquelle sont disposées des couches inférieure et supérieure de confinement de type de conductivité opposé, couche guidante qui constitue la région intrinsèque des deux structures PIN.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la couche supérieure de confinement est munie de rubans érigés en relief pour délimiter le guide d'entrée et le second guide.

13. Dispositif selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce que la couche de confinement inférieur est de type de conductivité N.

14. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'un contact de type P est disposé sur la (les) couche(s) de type P, et un contact de type N est disposé sur la couche de type N de la (ou de chaque) structure PIN.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens de commande comprennent l'application d'une tension entre les bornes N et P.

16. Dispositif selon la revendication 15, caractérisé en ce que les moyens de polarisation consistent en une résistance en série avec une alimentation en tension continue disposées entre les bornes N et P.

17. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens de commande consistent en des moyens de polarisation par une alimentation en courant.

18. Dispositif selon la revendication 17, caractérisé en ce que ces moyens comprennent une diode.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que ces moyens comprennent une diode photodéetectrice.

20. Dispositif selon la revendication 19 dans la mesure où cette dernière dépend de la revendication 4, caractérisé en ce que la diode photodéetectrice est réalisée en surface de la structure verticale.

21. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que les matériaux pour faire la (les) structure(s) de multipuits quantiques consistent en une alternance de couches binaires et ternaires ou quaternaires de matériaux du groupe III-V.

22. Dispositif selon la revendication 21, caractérisé en ce que les couches autres que les structures MQW sont ternaires ou quaternaires.

23. Dispositif selon la revendication 22, caractérisé en ce que les matériaux binaires sont formés d'arséniure de gallium (GaAs) et les matériaux ternaires d'arséniure de gallium et d'aluminium (GaAlAs), le substrat étant en arséniure de gallium (GaAs).

24. Dispositif selon la revendication 23, caractérisé en ce que la concentration en aluminium (Al) du composé d'arsenic de gallium et d'aluminium éventuellement dans les MQW est 0,3, en ce que dans l'autre guide s'il est non MQW, la concentration en aluminium (Al) est 0,11, et dans les autres couches, la concentration en aluminium (Al) est 0,16.

25. Dispositif selon la revendication 24, caractérisé en ce que l'épaisseur des guides pour obtenir la propagation d'une onde monomode est  $0,6\mu\text{m}$ .

26. Dispositif selon la revendication 24, caractérisé en ce que pour le fonctionnement à une longueur d'onde de 865 nm, l'épaisseur de la couche de séparation est  $D = 1\mu\text{m}$  et la longueur de couplage des guides de lumière dans le cas d'un seul guide à MQW est  $L = 288\mu\text{m}$ .

27. Dispositif selon la revendication 22, caractérisé en ce que les matériaux binaires sont le phosphore d'indium (INP), les matériaux ternaires l'arséniure de gallium et d'indium (GaInAs), et les matériaux quaternaires éventuellement, en un com-

posé d'arsenic, indium, phosphore, gallium, le substrat étant en phosphure d'indium (InP).

28. Utilisation du dispositif selon l'une des revendications 14 ou 15, pour commuter un signal porteur modulé en puissance, le signal porteur restant dans le guide d'entrée lorsque sa puissance d'entrée est faible et passant d'une façon abrupte dans le second guide de lumière lorsque sa puissance d'entrée est forte.

29. Utilisation du dispositif selon l'une des revendications 17 à 20, pour effectuer la commutation bistable d'un signal, commutation commandée par un top lumineux appliqué à un signal d'entrée, le signal continuant dans le même guide de lumière lorsque le top est un top de puissance négative, et le signal passant dans l'autre guide lorsque le top est un top de puissance positive, le signal se propageant alors continuellement jusqu'à l'apparition d'un nouveau top, alors que le signal d'entrée à repris sa puissance initiale après le top de commande.

30. Dispositif semiconducteur intégré incluant une matrice de commutation formée de QxQ dispositifs commutateurs opto-électroniques selon l'une des revendications précédentes, dans la mesure où chacune d'elles dépend de l'une des revendications 8 ou 11, ces dispositifs étant montés en cascade dans deux directions du plan du substrat.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



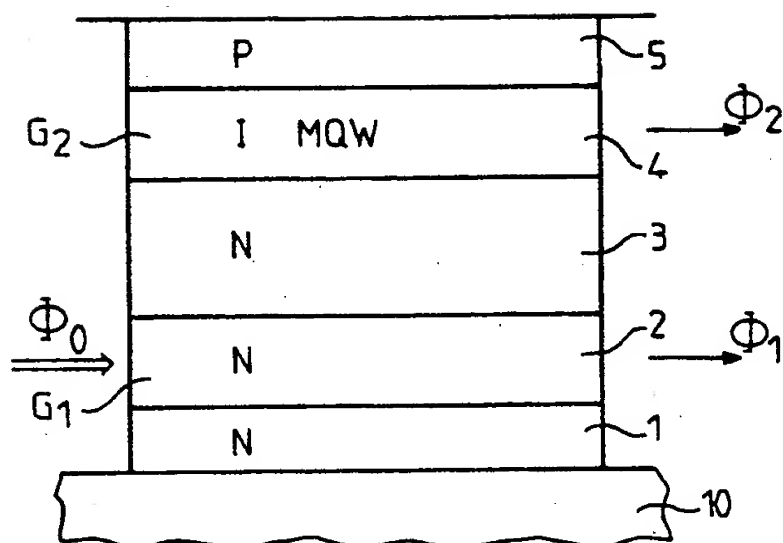


FIG. 1a

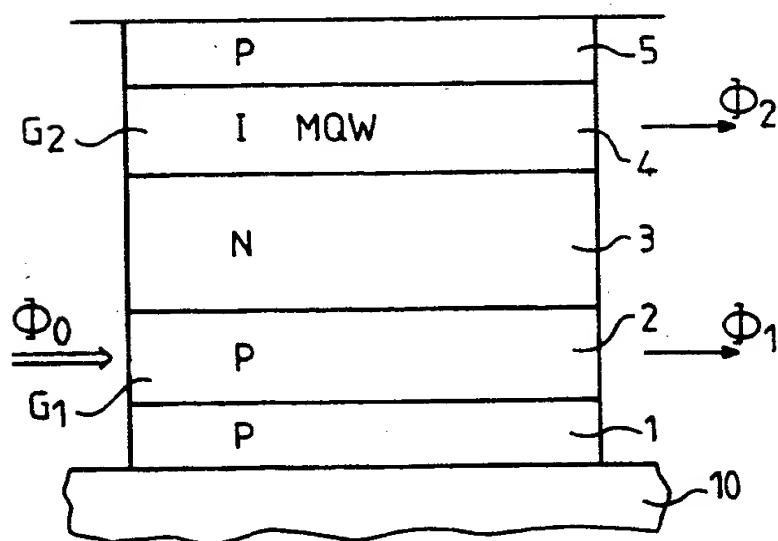


FIG. 1d

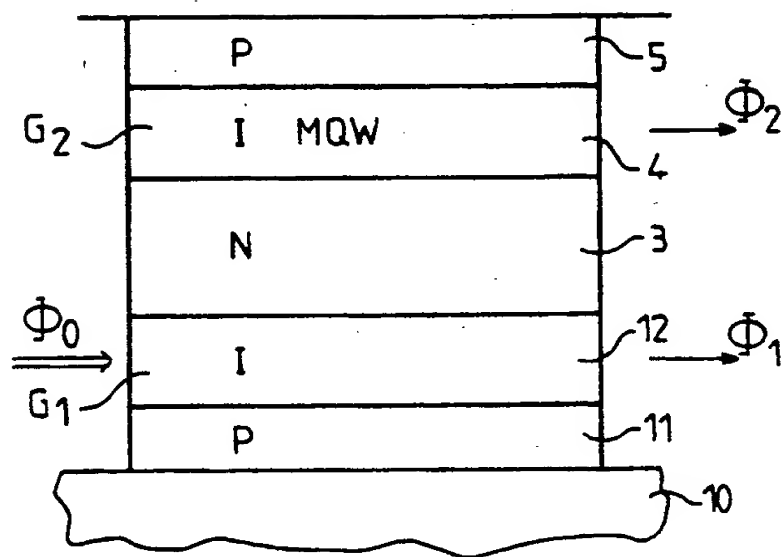


FIG. 1b

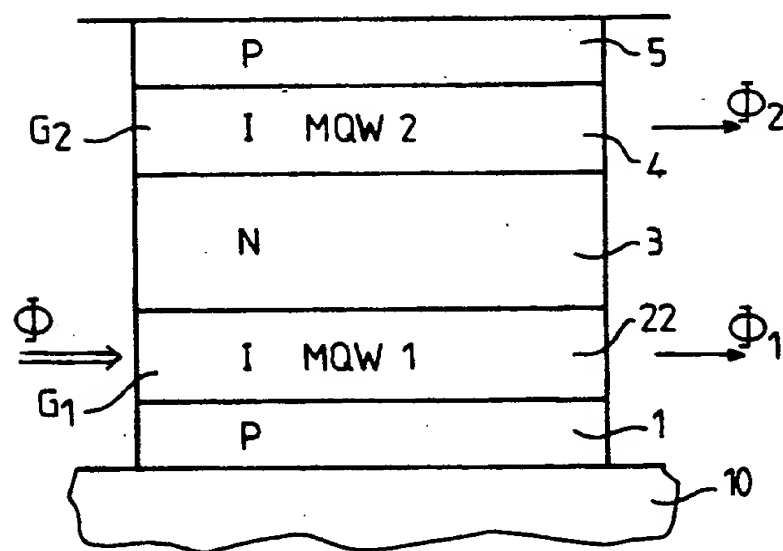


FIG. 1c

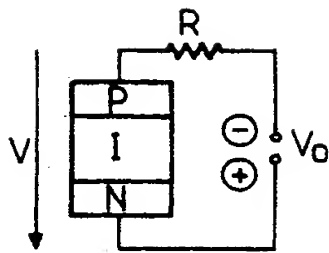


FIG. 2a

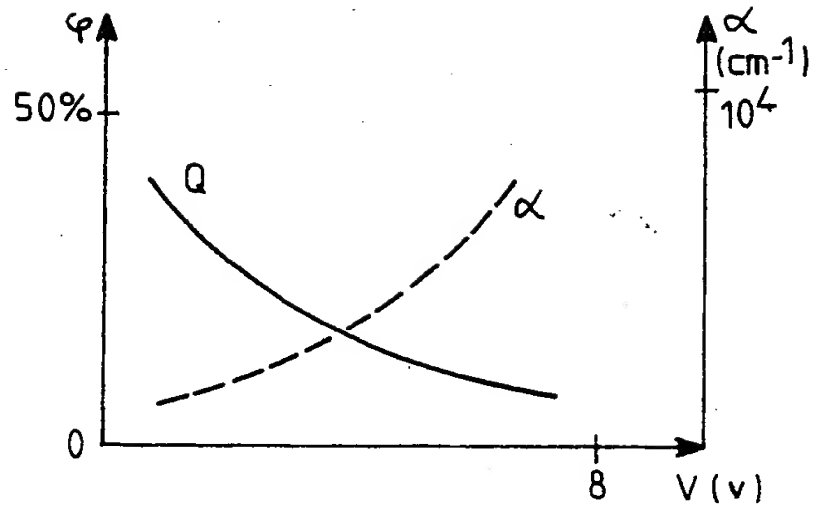


FIG. 2b

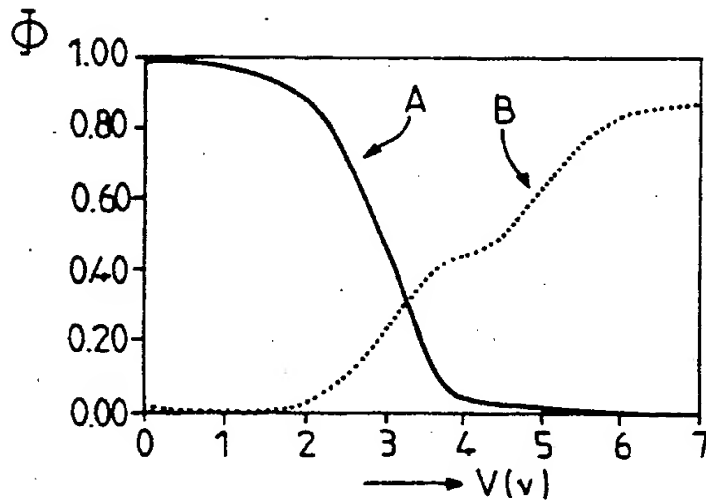


FIG. 2c

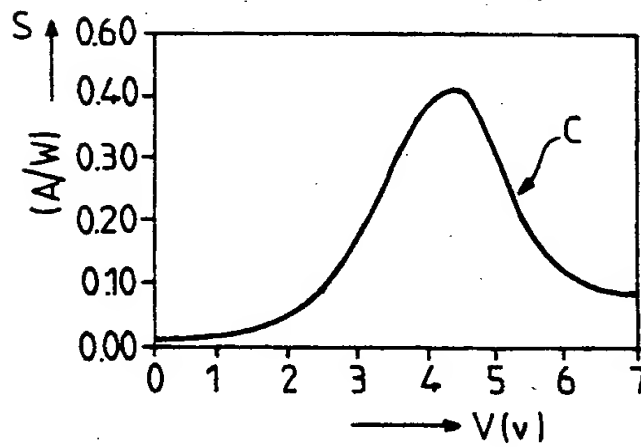


FIG. 2d

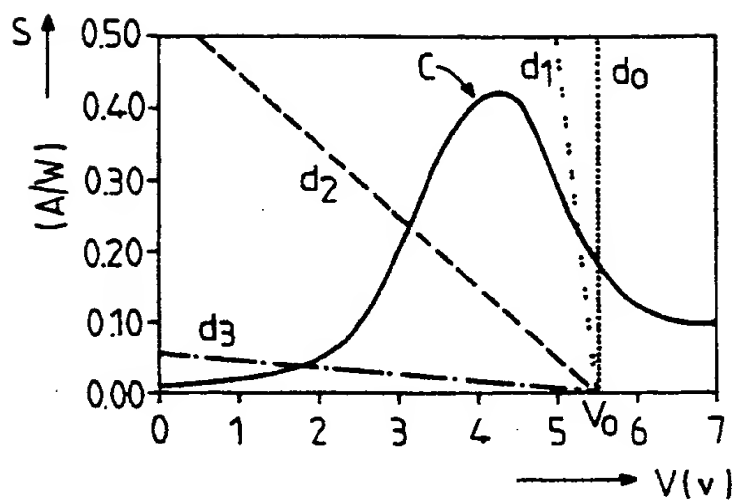


FIG. 2e

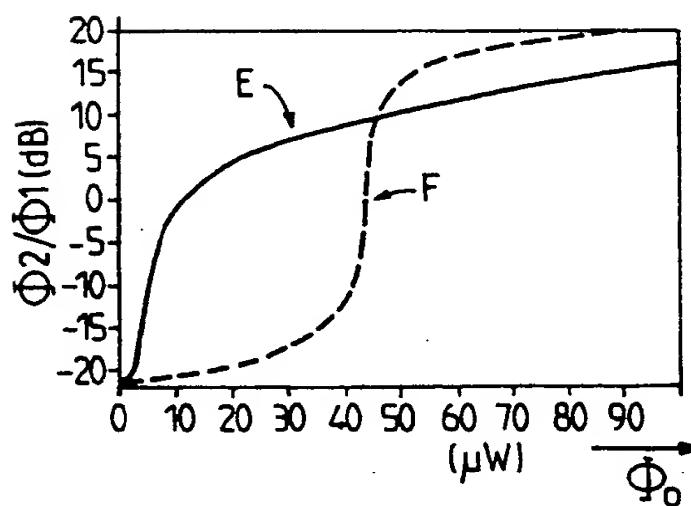


FIG. 2 f

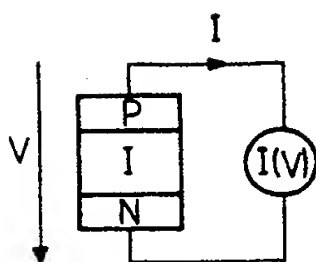


FIG. 3a

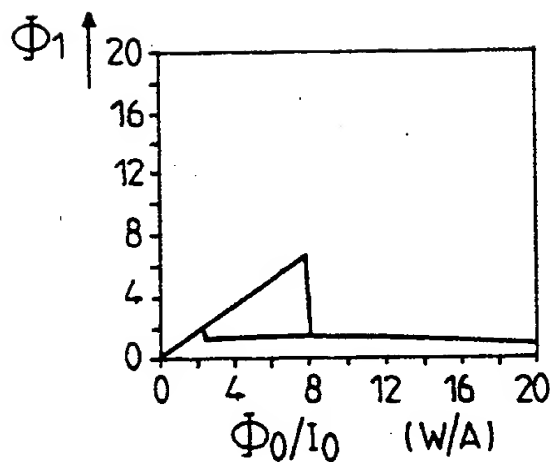


FIG. 3b

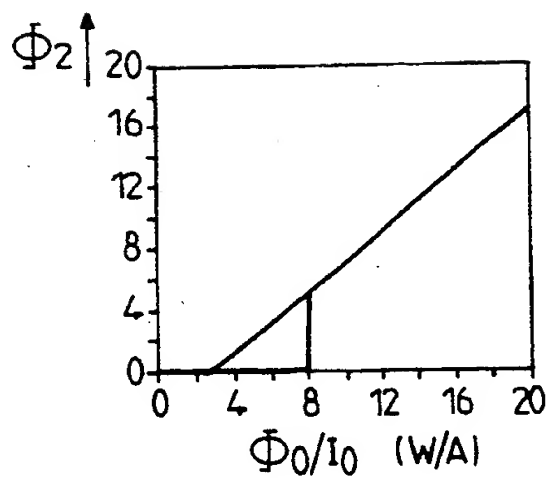


FIG. 3c

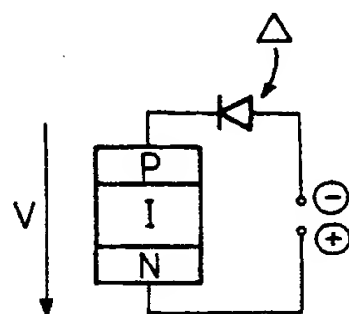


FIG. 4a

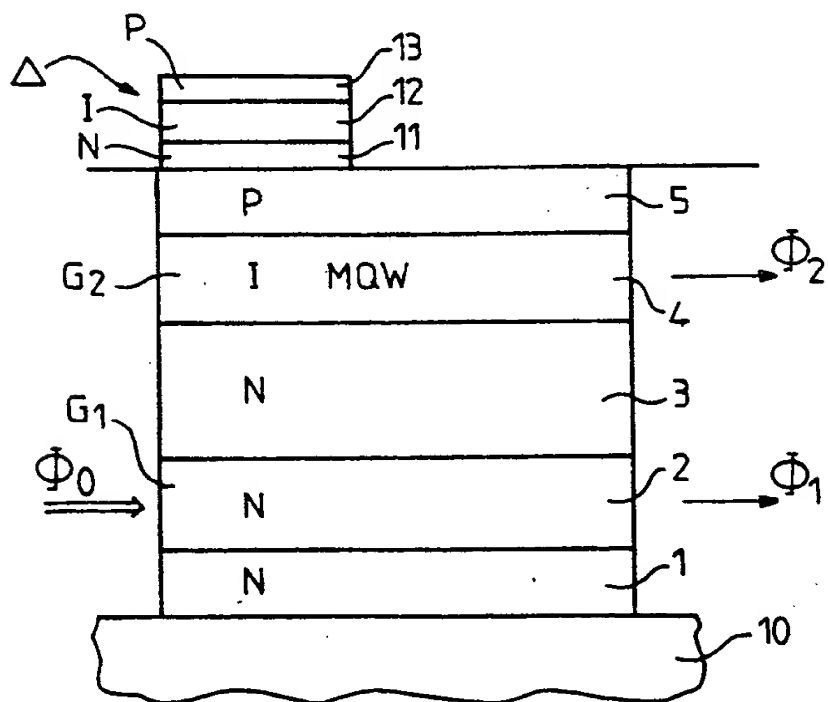


FIG. 4b

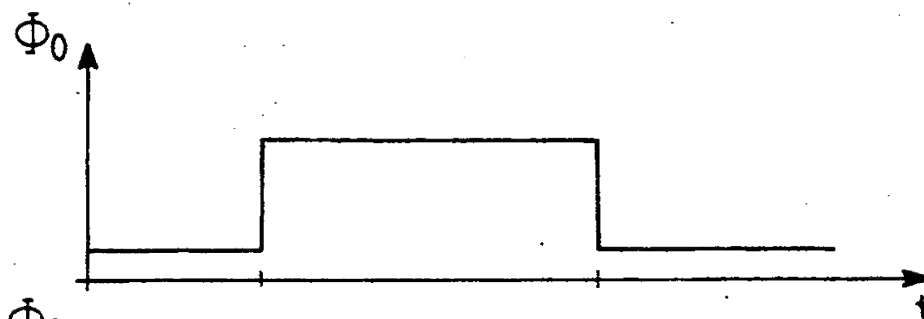


FIG. 5a

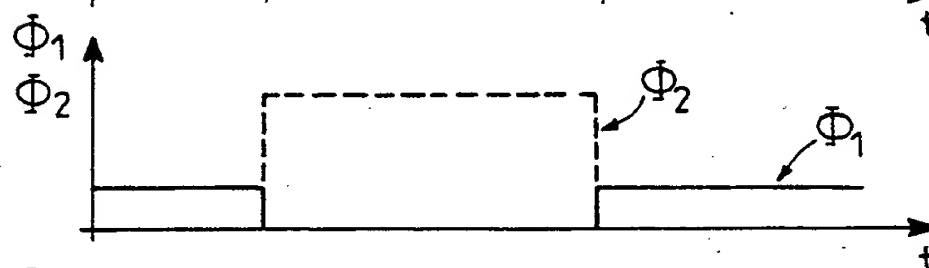


FIG. 5b

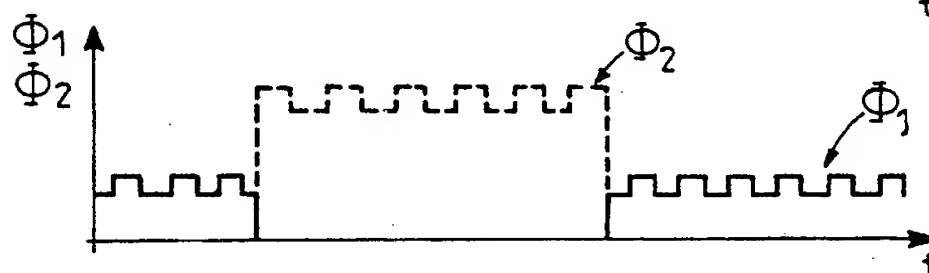


FIG. 5c

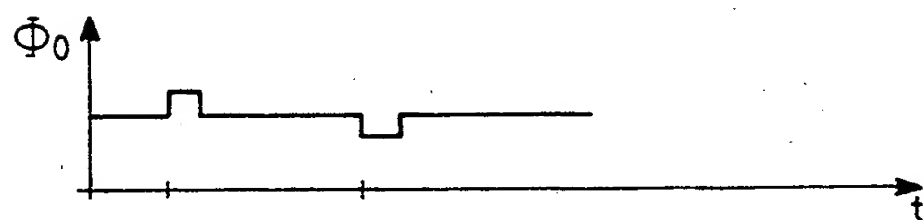


FIG. 6a

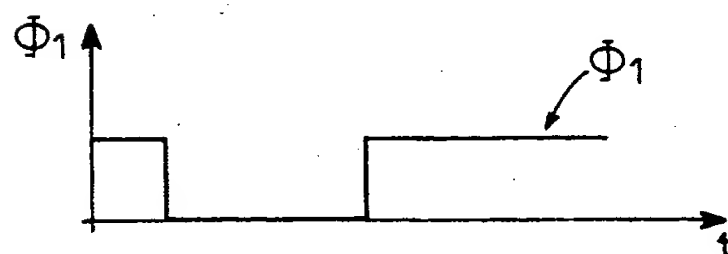


FIG. 6b

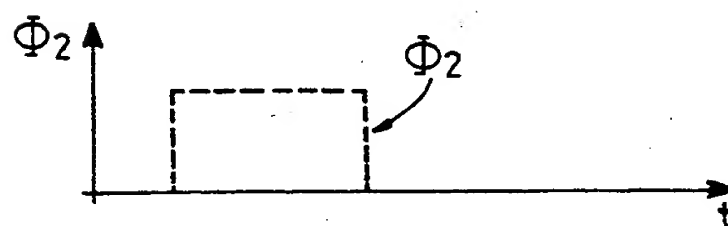


FIG. 6c

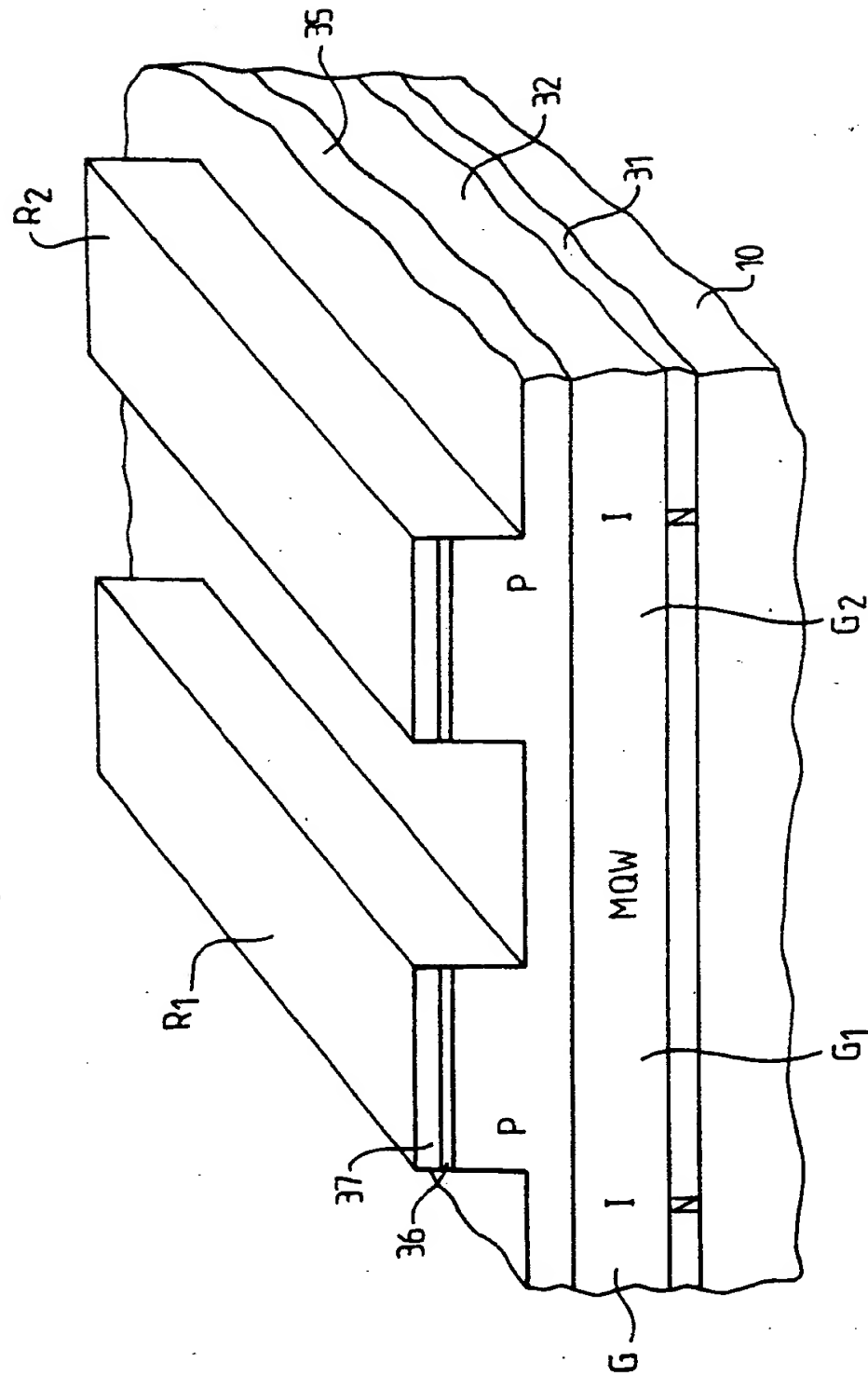


FIG. 7



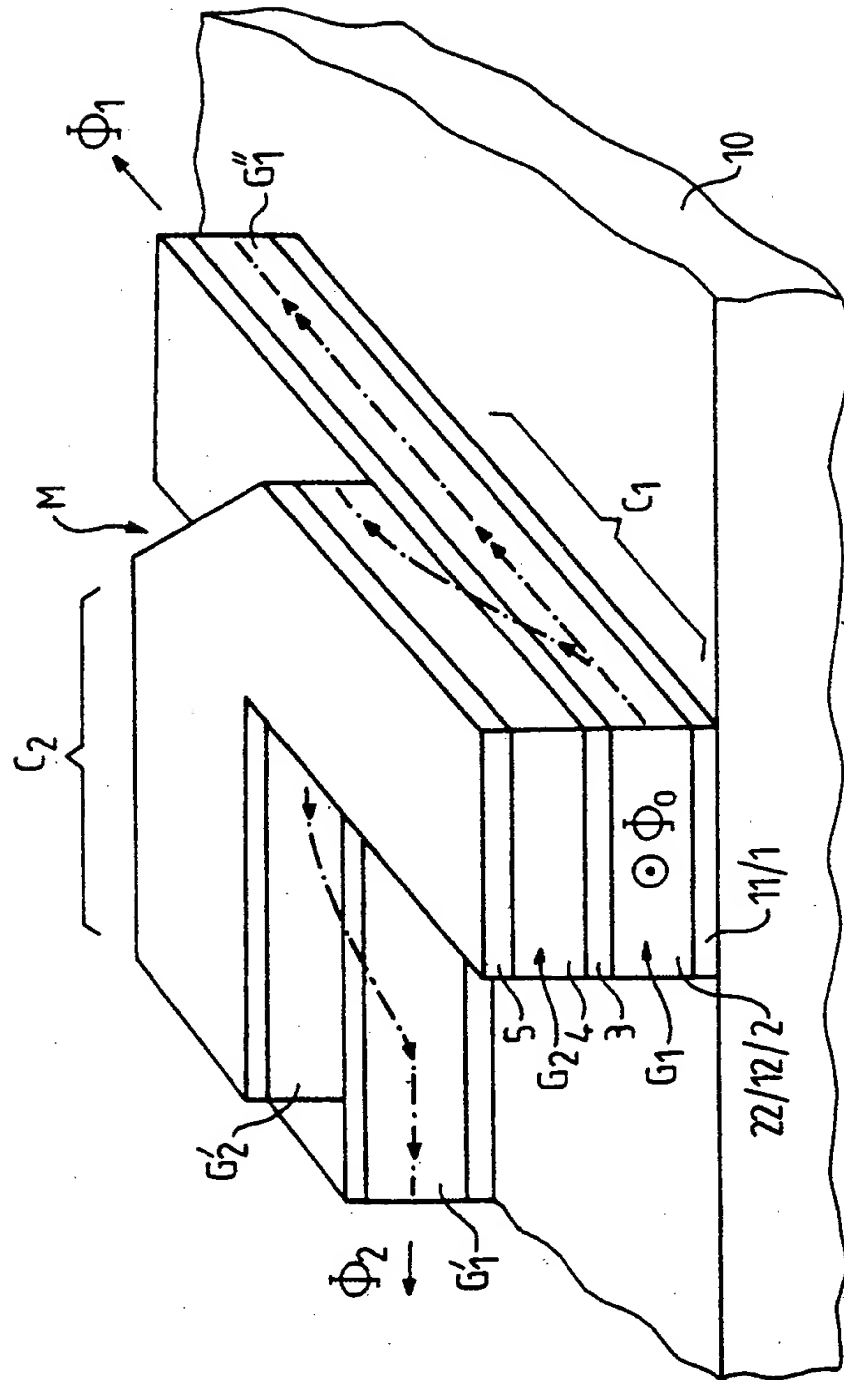


FIG. 8



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 90 20 1419

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
D,A	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, vol. QE-21, no. 9, septembre 1985, pages 1462-1476, IEEE, New York, US; D.A.B. MILLER et al.: "The quantum well self-electrooptic effect device: Optoelectronic bistability and oscillation, and self-linearized modulation" * Abrégé *	1	G 02 F 1/015 G 02 F 1/29 G 02 F 3/00
A	J. APPLIED. PHYS., vol. 65, no. 3, 1 janvier 1989, pages 927-934, American Institute of Physics; M. CHMIELOWSKI et al.: "Multiple-quantum-well vertical light guide switch" * Figure 1 *	1	
A	CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS, TECHNICAL DIGEST SERIES, Anaheim, CA, 25-29 avril 1988, vol. 7, pages 180-182, WE4; Y. CHEN et al.: "Nonlinear all-optical modulation in a GaAs/AlGaAs multiple well vertical directional coupler" * En entier *	1	
A	WO-A-8 403 363 (AT&T) * Figure 41 *	1	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)  G 02 F
Lieu de la recherche <b>LA HAYE</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>19-09-1990</b>	Examineur <b>GALANTI M.</b>
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire  T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			